

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА НЕЙРОНОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У МНОГОБОРЦЕВ РАЗНОГО УРОВНЯ МАСТЕРСТВА

Т.М. Брук, П.А. Терехов, Ф.Б. Литвин, К.Ю. Косорыгина

ФГБОУ ВО «Смоленская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», Смоленск, Россия

Для связи с авторами: e-mail: brykmtcenter@rambler.ru

Аннотация:

Цель исследования: изучить энергетический обмен нейронов коры головного мозга в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма у многоборцев разного уровня мастерства.

Материалы и методы. Исследование проводилось на легкоатлетах-многоборцах, имеющих спортивную квалификацию от МС до МСМК. Для регистрации показателей использовался аппаратно-программный комплекс «Нейроэнергокартограф-12» (Россия). Регистрировались показатели уровня постоянного потенциала (УПП) в лобной доле (Fz), центральной доле (Cz), правой височной (Td), левой височной (Ts) и затылочной (Oz). Для оценки типов вегетативной регуляции сердечного ритма использовался аппарат «Варикард 2.51» ООО «Институт внедрения новых медицинских технологий РАМЕНА» (г. Рязань, Россия) с регистрацией общепринятых временных и спектральных характеристик.

Результаты. Установлено, что у элитарных многоборцев уровень энергетического обмена нейронов изученных областей достоверно ниже по сравнению с таковым у спортсменов массовых разрядов. Это свидетельствует в пользу более выраженной адаптированности организма к физическим нагрузкам путем снижения величины обмена веществ и потребления кислорода. В статье обсуждается наличие функциональной связи между уровнем энергетического обмена в коре больших полушарий и типом вегетативной регуляции сердечного ритма. Низкий уровень энергетического обмена наблюдался у многоборцев с доминированием автономного механизма регуляции сердечного ритма. С ростом уровня мастерства происходили положительные сдвиги в работе механизмов регуляции внутри каждого из типов.

Заключение. Изучение энергетического обмена коры головного мозга в единстве с типологическими особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма повышает точность прогноза функционального состояния организма многоборцев и его резервных возможностей. Величина УПП и тип регуляции позволяют характеризовать нейрофизиологическую устойчивость организма к систематическим физическим нагрузкам, которая в известной мере определяется соотношением аэробного и анаэробного обмена веществ.

Ключевые слова: легкоатлеты-многоборцы, энергетический обмен, области коры больших полушарий, вариабельность сердечного ритма, типы вегетативной регуляции.

SPECIFICITIES OF ENERGY METABOLISM OF CEREBRAL CORTEX NEURONS DEPENDING ON THE TYPE OF VEGETATIVE REGULATION OF HEART RATE IN THE MULTI-EVENT ATHLETES OF VARIOUS SKILL LEVELS

T. M. Brook, P. A. Terekhov, F. B. Litvin, K. Y. Kosorygina

Smolensk State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Smolensk, Russia

Abstract:

The purpose of the research: to investigate the energy metabolism of cerebral cortex neurons depending on the type of vegetative regulation of heart rate in the multi-event athletes of various skill levels.

Material and methods. The research encompassed multi-event athletes, with sport qualifications from Master of Sports to Master of Sports, International Class. The indicators were recorded with "Neuroenergokartograph-12" hardware-software complex (Russia). The indicators of constant capacity level (CCP) in the frontal lobe (Fz), central lobe (Cz), right temporal lobe (Td), left temporal lobe (Ts) and occipital lobe (Oz) were recorded. In order to assess the types of vegetative regulation of heart rate we used VARICARD 2.51 apparatus of the RAMENA Institute for Implementation of New Medical Technologies (Ryazan, Russia) enabling registration of conventional time and spectral characteristics.

Results. It was revealed that the elite multi-event athletes show lower level of neurons energy metabolism in the investigated areas in comparison with the athletes of mass categories. It means more visible body adaptability to physical activity through reduction of metabolism and oxygen consumption. The article discusses the existence of functional links between energy metabolism level in the cerebral cortex and the type of vegetative regulation of heart rate. The low level of energy metabolism was demonstrated by multi-event athletes with the dominance of autonomous mechanism of heart rate regulation. Along with the increase of skill level positive changes in the regulation mechanisms within every type occurred.

Conclusion. The investigation of the energy metabolism of cerebral cortex in conjunction with the typological specificities of vegetative regulation of cardiac rhythm increases the accuracy of the projection of the functional body state of multi-event athletes and its reserve capabilities. The CCP value and the type of regulation make it possible to characterize neurophysiological resistance of the organism to systematic physical activity, which is to a certain extent determined by the ratio of aerobic and anaerobic metabolism.

Keywords: multi-event athletes, energy metabolism of the cerebral cortex, heart rate variability, types of vegetative regulation.

ВВЕДЕНИЕ

Головной мозг при весе 2% от общей массы тела потребляет более 20% всей расходуемой организмом энергии [10]. Интенсивность процессов дыхания максимальная в коре больших полушарий. При повышении энергетических потребностей во время физических нагрузок в нервной ткани увеличивается гликолиз. Кроме этого, анаэробное окисление усиливается при рабочей гипоксии, возникающей практически всегда в работающих мышцах при воздействии тренировочных и соревновательных физических нагрузок [1]. В случае недостаточного поступления кислорода переход на анаэробный путь образования энергии сопровождается понижением рН и смещением кислотно-щелочного равновесия в кислую сторону [2]. Сложные взаимоотношения функциональной активности нейронов и их энергообеспечения указывают на необходимость более глубоких исследований взаимосвязи между энергетическим обменом и работой нервных клеток. Прижизненная оценка энергетического метаболизма с использованием показателя уровня постоянного потенциала (УПП) позволяет получить новые знания о работе мозга в условиях больших, а зачастую и предельных, физических нагрузок. УПП может быть использован для оценки резервных возможностей спортсмена и прогноза спортивных достижений. Ацидоз головного мозга негативно сказывается на управлении функциями организма, среди которых и управление сердечным ритмом. Известно, что многоуровневая структура управления сердечным ритмом включает и

контроль со стороны определенных корковых центров. В этой связи возникла необходимость объединить и проанализировать данные по энергетической физиологии мозга и особенностям вегетативной регуляции сердечного ритма у легкоатлетов-многоборцев. Несомненно, что такое научное направление имеет огромные перспективы как для теоретической физиологии, так и для практики. Это тем более актуально, потому что исследования такого рода в отечественной литературе предлагаются впервые.

Целью работы явилось изучение энергетического обмена нейронов коры головного мозга в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма у многоборцев разного уровня мастерства.

МЕТОДИКА

И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на 18 атлетах летнего многоборья уровня МС и МСМК, выступавших на Чемпионате и Первенстве России (09.06-11.06. 2017 г. в г. Смоленске).

Предварительно в ходе пилотного исследования определены типы вегетативной регуляции сердечного ритма с помощью аппарата «Варикард 2.51» ООО «Институт внедрения новых медицинских технологий РАМЕНА» (г. Рязань, Россия) по методике Шлык Н.И. [9]. Рассчитывались общепризнанные временные и спектральные показатели variability сердечного ритма. У элитарных многоборцев встречались представители с умеренным преобладанием центрального (I тип) и автономного (III тип) механизмов

управления сердечным ритмом. У многоборцев массовых разрядов регистрировались четыре типа регуляции.

Оценка энергетического обмена общепринятых зон коры больших полушарий проводилась при помощи нейроэнергокартирования (НЭК) на аппаратно-программном комплексе «Нейроэнергокартограф-12» (Россия) по стандартной методике. Регистрировались показатели уровня постоянного потенциала (УПП) в лобной доле (Fz), центральной доле (Cz), правой височной (Td), левой височной (Ts) и затылочной (Oz).

Количественную оценку полученных результатов проводили методом непараметрической статистики Манна-Уитни и Т Вилкоксона с помощью статистического анализа системой «IBM SPSS Statistics 19», для Windows (StatSoft, Inc., США). Различия считались достоверными при значении $p < 0,05-0,01$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общепризнано, что индикатором адаптационных реакций целостного организма на воздействие факторов внешней среды является сердечно-сосудистая система с ее многоуровневым механизмом управления. В последние годы в практике спорта объективным, информативным и сравнительно простым является метод математического анализа сердечного ритма [4,5,6,7]. Однако, применяя методику на практике, следует избегать системной ошибки, которая неизбежно возникает, если не учитывать доминирование автономного или центрального контуров управления, которые генетически детерминированы. Поэтому ряд исследователей [3,7] при использовании методики вариационной пульсометрии рекомендуют выделять в группе испытуемых типы регуляции по методике профессора Н.И. Шлык [9]. По данным нашего исследования, у высококвалифицированных многоборцев доминирует два типа регуляции: умеренный автономный контур регуляции (III-тип) и умеренный центральный (I-тип). Выраженный центральный (II-тип) и выраженный автономный контуры (IV-тип) встречаются в единичных случаях и только у многоборцев массовых разрядов. Позволительно говорить о

биологической целесообразности реализации определенного вида регуляции в зависимости от природы действующего внешнего фактора и функционального состояния организма. У многоборцев, чем выше уровень квалификации, тем выше вероятность встречаемости III типа регуляции. В частности, у элитарных спортсменов 88% испытуемых имели III тип регуляции и 12% – I тип регуляции. При этом у 44% многоборцев массовых разрядов встречался III тип регуляции, у 34% – I тип, у 10% – II тип и у 12% – IV тип. Предполагается, что длительные физические нагрузки приводят к формированию специфической «спортивной» функциональной системы, которая обладает не только высокой устойчивостью к экстремальным нагрузкам, но и хорошей пластичностью регуляторных систем. По всей видимости, такой адаптированностью обладает автономный контур регуляции, поскольку при его преобладающем влиянии в организме разворачиваются трофотропные процессы, связанные с экономичностью в расходовании энергетических и пластических запасов. Подкупает тот факт, что, несмотря на принадлежность к одному типу регуляции, отмечается определенный тренд показателей в зависимости от уровня квалификации. Так, у элитарных спортсменов с I типом изучаемые показатели, характеризующие центральный механизм регуляции, достоверно ниже по сравнению с показателями у спортсменов массовых разрядов (таблица 1). В частности, показатель ЧСС меньше на 5%, АМо – на 46%, SI – на 25%. Показатель симпато-парасимпатического баланса LF/HF у элитарных спортсменов с I типом снижается на 20%. При этом величины показателей спектральной мощности у элитарных спортсменов выше, что свидетельствует о снижении напряженности в регуляторных системах. У элитарных многоборцев величина показателя TP выше на 27%, HF и LF – на 39% и VLF – на 10% по сравнению с показателями у многоборцев массовых разрядов. При сравнительном анализе показателей III типа регуляции у многоборцев разного уровня мастерства следует отметить более высокие средние значения показателей у спортсменов массовых разрядов. Так, у спортсменов массовых разрядов выше средние значения показателей ЧСС – на 14%, АМо – на

32%, SI – на 122%, LF – на 14%, VLF – на 25% и LF/HF – на 63%. Из этого следует, что при одном типе регуляции уровень напряженности регуляторных систем тем ниже, чем выше уровень мастерства. Неодинаковый уровень различий между показателями разных типов регуляции регистрируется и внутри группы элитарных многоборцев, и спортсменов массовых разрядов, что отражает разную степень адаптированности в ответ на воздействие систематических физических нагрузок.

У элитарных спортсменов различия по показателю ЧСС составляют 20%, по АМо – 82%, по SI – 352%, TP – 39%, HF – 98%, LF – 44%, VLF – 54%, LF/HF – 99%. У многоборцев массовых разрядов градиент различия меньше по показателям ЧСС – 11%, SI – 152%, HF – 76%, LF – 44%, VLF – 9%, LF/HF – 46% и больше по АМо – 103%, TP – 63%. В целом, у элитарных спортсменов усиливается активность автономного контура регуляции при снижении активности центрального механизма регуляции. В результате найденная разность между показателями оказалась выше по сравнению со значениями у многоборцев массовых разрядов, для которых характерна менее выраженная степень различий. Таким образом, не отрицая генетическую предрасположенность наличия у спортсме-

нов одного из типов регуляции, многолетние занятия спортом вносят коррекцию в особенности регуляции сердечного ритма.

Поскольку признание многоуровневой регуляции сердечного ритма предполагает участие высших корковых центров, нами решалась задача по изучению уровня энергетического обмена полушарий головного мозга у многоборцев. Особенность соревновательной деятельности многоборцев заключается в высочайшем морфофункциональном и психоэмоциональном напряжении атлетов, когда за два соревновательных дня выполняется от семи до десяти разных по объему, мощности и координированности видов легкой атлетики. Как показано в таблице 2, уровень энергетического обмена в коре больших полушарий по показателю УПП оказался разным в зависимости от уровня мастерства и типа вегетативной регуляции сердечного ритма. Прежде всего, обращают на себя внимание достоверно высокие показатели УПП в изученных зонах коры больших полушарий у многоборцев массовых разрядов по сравнению с таковыми у элитарных спортсменов. Как отмечают авторы, в норме рост УПП сопровождается повышением локального мозгового кровотока и потреблением глюкозы, то есть высокие значения УПП отражают усиление энергетиче-

Таблица 1 – Показатели вариационной пульсометрии у легкоатлетов-многоборцев (M±m)

№п/п	показатели	Элитарные		Массовые разряды		p<0,05
		I тип	III тип	I тип	III тип	
		12%	88%	34%	44%	
1	ЧСС, уд./мин	65,6±1,94	54,6±1,60	69,2±3,50	62,4±3,33	1:2;2:3; 2:4;3:4
2	АМо, %	41,1±1,60	22,6±0,86	59,7±3,70	29,7±2,50	1:2;2:3; 2:4;3:4
3	SI, усл. ед.	140,3±4,71	31,3±1,56	174,5±5,81	69,5±2,70	1:2;1:4; 2:3; 2:4;3:4
4	TP, мс ²	4085±213	5680±299	3215±321	5229±502	1:2;2:3; 2:4;3:4
5	HF, мс	842±100	1670±105	740±228	1303±258	1:2;2:3; 2:4;3:4
6	LF, мс	1953±131	1353±135	1409±375	1537±463	1:2
7	VLF, мс	655±71	1011±63	593±160	1266±358	1:2;2:3; 3:4
8	LF/HF ус.ед.	2,82±0,59	1,42±0,23	3,38±0,98	2,32±0,65	2:3

Таблица 2 – Уровень постоянных потенциалов у легкоатлетов-многоборцев в зависимости от типа вегетативной регуляции (M±m)

№п/п	показатели	Элитарные		Массовые разряды		p<0,05
		I тип	III тип	I тип	III тип	
		12%	88%	34%	44%	
1	Fz, мВ	12,98±0,33	10,45±0,13	21,98±0,22	16,98±0,17	1:3;1:4; 2:3;2:4; 3:4
2	Cz, мВ	13,98±0,65	11,11±0,22	16,96±0,22	17,25±1,11	1:3;1:4; 2:3;2:4
3	Oz, мВ	12,59±0,69	11,12±0,47	17,69±0,14	17,48±1,24	1:3;1:4; 2:3;2:4
4	Td, мВ	13,06±0,18	12,85±0,45	17,96±0,19	14,12±0,47	1:3;2:3
5	Ts	12,95±0,36	12,61±0,81	14,02±0,28	18,08±1,33	1:4; 2:4;3:4

ческого метаболизма [8]. Полученные нами результаты подтверждают литературные данные и свидетельствуют о том, что у спортсменов низкой квалификации в состоянии относительного покоя отмечается повышенный уровень обмена, граничащий с низкой экономичностью в работе организма. Обращает на себя внимание тот факт, что у многоборцев массовых разрядов с III типом регуляции по сравнению с I типом показатели УПП достоверно ниже на 29% во фронтальной, на 27% – в правой височной ($p < 0,05$), недостоверно выше (на 2%) – в центральной и на 29% достоверно выше – в левой височной областях. Это укладывается в представление о том, что умеренное доминирование автономного контура регуляции сердечного ритма снижает энергетический обмен в отдельных зонах коры больших полушарий. Особенностью центральной области является наличие высоких показателей УПП как для I типа, так и для III типа регуляции, что связано с расположением в этой области афферентных и эфферентных нейронов, отвечающих за работу скелетной мускулатуры. Подкупает статистически более высокая величина УПП у многоборцев с III типом в левой височной области. Отдельные исследования [8] указывают на асимметричное расположение центров симпатического и парасимпатического отделов ВНС в правом и левом полушариях головного мозга. Именно значения УПП в левой височной области выше по сравнению со значениями в правой. При рассмотрении закономерностей показателей УПП у элитарных спортсменов достоверных различий по областям между I и III типами регуляции не установлено. И все же у элитарных многоборцев с III типом регуляции просматривается тенденция к снижению величины УПП по всем зонам регистрации. Бесспорно,

низкий уровень различий свидетельствует о повышении экономичности в работе с ростом мастерства при сохраняющихся различиях по вегетативному обеспечению сердечного ритма. Нашу точку зрения о том, что низкий УПП свидетельствует об экономичности церебрального энергообмена у спортсменов до нагрузки, разделяют отдельные исследователи [8]. Более высокие значения УПП у многоборцев массовых разрядов с I типом регуляции по сравнению с элитарными спортсменами того же типа регуляции связаны с разной выраженностью физической нагрузки. Для спортсменов массовых видов спорта это более выраженный стресс, и потому выделяется больше кортизола и повышается анаэробный гликолиз с понижением рН за счет образования молочной кислоты. Высокие значения УПП после физических нагрузок указывают на худшую переносимость нагрузки, более низкий анаэробный порог и склонность к стрессовым реакциям. Такие спортсмены и до нагрузки имеют более высокий усредненный УПП, а в процессе тренировки наблюдается его дальнейшее увеличение [8]. У элитарных спортсменов выраженность стресса менее значима ввиду более выраженной адаптированности организма к физическим нагрузкам, что проявляется низкими значениями УПП.

Таким образом, изучение энергетического обмена коры головного мозга в единстве с типологическими особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма повышает точность прогноза функционального состояния организма многоборцев и его резервных возможностей. Величина УПП и тип регуляции позволяют характеризовать нейрофизиологическую устойчивость организма к систематическим физическим нагрузкам, которая в известной мере определяется соотношением аэробного и анаэробного обмена веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агаджанян, Н.А. Соревновательный стресс у представителей различных видов спорта по показателям variability сердечного ритма / Н.А. Агаджанян, Т. Е., Батоцыренова, Ю.Н. Семенов // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 1. – С. 2-8.
2. Баба-Заде, А.А. Анализ уровня постоянного потенциала головного мозга как метод оперативного и текущего контроля состояния спортсменов / А.А. Баба-Заде, Н.Н. Озолин, В.Ф. Фокин, Л.Л. Клименко, А.Ф. Конькова // Теория и практика физической культуры. – 1989. – № 5. – С. 42-44.
3. Брук, Т.М. Специальная анаэробная работоспособность футболистов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма / Т.М. Брук, Ф.Б. Литвин, П.А. Терехов // Культура физическая и здоровье. – 2018. – Т. 65. – № 1. – С. 125-129.
4. Гаврилова, Е.А. Вариабельность сердечного ритма и спорт / Е.А. Гаврилова // Физиология человека. – 2016. – Т. 45. – № 2. – С. 121-129.

5. Гуштурова, И.В. Особенности variability сердечного ритма и центральной гемодинамики у спортсменов-легкоатлетов в предсоревновательном периоде / И.В. Гуштурова, В.Н. Телепов // *Вариабельность сердечного ритма: теор. аспекты и практ. применение: материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием* (Ижевск, 26-28 окт. 2011 г.). – Ижевск, 2011. – С. 249-252.
6. Жужгов, А. П. Вариабельность сердечного ритма у легкоатлетов-средневики в разные соревновательные периоды / А.П. Жужгов, Е.Н. Сапожникова, А.Б. Куртеев // *Вариабельность сердечного ритма: теоретически аспекты и практическое применение* :Тез. докл. V Всеросс. симп. с межд. уч. – Ижевск, 2011. – С. 257-259.
7. Литвин, Ф.Б. Состояние вегетативной регуляции сердечного ритма у футболистов на этапах годичного тренировочного цикла / Ф. Б. Литвин, Т. М. Брук, Н. В. Осипова и др. // *Ритм сердца и тип вегетативной регуляции в оценке уровня здоровья населения и функциональной подготовленности спортсменов: Материалы VI Всероссийского симпозиума с межд. участием* (11-12 октября 2016, г. Ижевск). – С. 175-181.
8. Фокин В. Ф. Энергетическая физиология мозга / В.Ф. Фокин, Н.В. Пономарева. – М. : «Антидор», 2002. – 248 с.
9. Шлык, Н.И. Управление тренировочным процессом спортсменов с учетом индивидуальных характеристик variability сердечного ритма / Н.И. Шлык // *Физиология человека*. – 2016. – Т. 42. – № 6. – С. 81-91.
10. Siebert, G., Gessner B., Klasser M. Energy supply of the central nervous system / G. Siebert, B. Gessner, M. Klasser // *Biblhca. Nutr. Dieta*. – 1986. – № 38. – P. 1-26.

LIST OF REFERENCES

1. Agadzhanian, N.A. Competitive stress among representatives of various sports on the parameters of heart rate variability / N.A. Agadzhanian, T.E. Batotsyrenova, Y.N. Semenov // *Theory and practice of physical culture*. – 2006. – No. 1. – P. 2-8.
2. Baba-Zade, A.A. Analysis of the level of permanent brain capacity as a method of operative and current monitoring of athletes' condition / A.A. Baba-Zade, N.N. Ozolin, V.F. Fokin, L.L. Klimenko, A.F. Konkova // *Theory and practice of physical culture*. – 1989. – № 5. – P. 42-44.
3. Brook, T.M. Special anaerobic workability of football players with different types of vegetative regulation of the heart rhythm / T.M. Brook, F.B. Litvin, P.A. Terekhov // *Physical culture and health*. – 2018. – Vol. 65. – № 1. – P. 125-129.
4. GavriloVA, E.A. Variability of heart rhythm and sports / E.A. GavriloVA // *Human physiology*. – 2016. – Vol. 45. – № 2. – P. 121-129.
5. Gushturova, I.V. Peculiarities of heart rate variability and central hemodynamics in female track and field athletes in the pre-competition period / I.V. Gushturova, V.N. Telepov // *Variability of heart rhythm: theoretical aspects and practical application* : materials of the V All-Russian Symposium with international participation (Izhevsk, October 26-28, 2011). – Izhevsk, 2011. – P. 249-252.
6. Zhuzhgov, A.P. The variability of heart rhythm in middle-distance runners in various competition periods / A.P. Zhuzhgov, E.N. Sapozhnikova, A.B. Kurtseyev // *Heart rate variability: theoretical aspects and practical application* : report abstract of the V All-Russian Symposium with international participation. – Izhevsk, 2011. – P. 257-259.
7. Litvin F.B. The state of vegetative regulation of cardiac rhythm in football players during one-year training cycle. / F.B. Litvin, T.M. Brook, N.V. Osipova et al. // *Heart rhythm and the type of vegetative regulation in assessing the community health level and the functional fitness of athletes* : Materials of the VI All-Russian Symposium with international participation (11-12 October 2016, Izhevsk). – P. 175-181.
8. Fokin, V. F. Energy brain physiology / V.F. Fokin, N.V. Ponomareva. – M. : "Antidor", 2002. – 248 p.
9. Shlyk, N.I. Management of the training process of athletes considering individual characteristics of the heart rate variability / N.I. Shlyk // *Human Physiology*. – 2016. – Vol. 42. – № 6. – P. 81-91.
10. Siebert, G., Gessner B., Klasser M. Energy supply of the central nervous system / G. Siebert, B. Gessner, M. Klasser // *Biblhca. Nutr. Dieta*. – 1986. – № 38. – P. 1-26.